

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 621.

НАПРУЖЕНО–ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТВЕРДОСПЛАВНОЇ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ З ПОКРИТТЯМ ДИСКРЕТНОГО ТИПУ

Сорока О.Б., Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАНУ, м. Київ, Україна

В роботі розглянуто напружено-деформований стан твердосплавного різального інструмента з вакуумплазовими покриттями суцільного та дискретного типу. Показано, що застосування покриття дискретного типу дозволяє розвантажити робочу частину інструменту порівняно з інструментом без покриття та з суцільним покриттям

Вступ

Захисні покриття на основі нітридів та карбідів тугоплавких металів (TiN, TiC, TiAlN, TiCN), отримані способом фізичного осадження з газової фази (PVD), широко використовуються для модифікації поверхні різальних інструментів. PVD покриття добре відповідають вимогам, які висуваються до різального інструмента, що працює у важких умовах переривчастого різання, при чистовій та чорновій обробці. Вони захищають інструмент від високого рівня механічних напружень і температур, не змінюють геометричні параметри та конфігурацію кромки і не знижують в'язкість основи.

На сучасному ринку різального інструмента наявна широка номенклатура твердосплавних різальних пластин з покриттями. Саме поєднання властивостей твердосплавної основи і покриттів дозволяє підвищити зносостійкість інструмента і продуктивність різання [1, 2]. Твердосплавні різальні пластини з покриттями, які наносяться методами фізичного осадження, успішно застосовуються при чистовій та напівчистовій обробці сплавів аерокосмічної техніки, нержавіючих сталей та жароміцних сплавів, чавунів та кольорових металів, а також сталей з твердістю більш, ніж 60 HRC [3 - 8]. При цьому, майже на 30% зменшуються сили різання [4], до двох разів збільшується швидкість різання, в тому числі, без застосування мастильно-холодильних рідин [5, 6].

В зв'язку з тим, що основною причиною виходу з ладу різального інструмента є руйнування його поверхні, вимогою для забезпечення експлуатаційних властивостей інструмента з покриттям є високі когезійна, адгезійна і контактна міцність покриттів. Тому, подальше удосконалення робочих поверхонь полягає у покращенні архітектури покриттів.

Забезпечити хороше зчеплення з основою можна, якщо між основою і твердим покриттям використовувати проміжний шар у вигляді дуже тонких шарів металу (Ti, Cr, Al) [9]. Багатошаровість дозволяє також регулювати рівень залишкових напружень в покритті і отримувати, таким чином, покриття більшої товщини без збитку для адгезійної міцності [10]. Крім того, багатошарові по-

криття створюють бар'єр для розвитку тріщин, що, у свою чергу, забезпечує когезійну міцність. Метою створення багатошарових покриттів є також забезпечення його багатофункціональності, коли кожна з функцій притаманна матеріалу одного із шарів. Проміжні шари мають різне функціональне призначення: від збільшення загальної товщини покриття до створення термостабільних трібопасивних зносостійких систем. У верхньому шарі забезпечується висока твердість, корозійна стійкість, блокування теплових потоків, зменшення дифузії [11]. Такі покриття успішно застосовуються при виготовленні сучасного різального інструмента [2, 12-14].

Плавний перехід від надійного зчеплення з основою до спеціальних властивостей на поверхні забезпечують градієнтні покриття. Авторами [15, 16] показано, що відповідний градієнт модуля пружності призводить до зниження еквівалентних напружень на поверхні розділу покриття і основи умовах контактного навантаження з тертям. У роботі [16] показано, що покриття з додатним градієнтом, в яких модулі пружності зменшуються поступово від поверхні шару до основи, значно знижують напруження поблизу поверхні розділу "шар-основа".

В роботі пропонується ще один простий оригінальний метод формування PVD-покриттів з підвищеною адгезійною, когезійною і контактною міцністю шляхом створення переривчастої топографії (покриття дискретного типу) [17, 18].

Окрім поєднання в системі «основа-покриття дискретного типу» таких властивостей як твердість і пластичність, що, на перший погляд, взаємно виключають одне одного, композиції «основа - покриття дискретного типу» дозволяють:

- виключити когезійне розтріскування покриття при навантаженні деталі згинальним моментом або розтягуючими зусиллям, які передаються покриттю через поверхню адгезійного контакту;
- виключити адгезійне відшаровування покриття нормальним відривом по краях ділянок при контактному навантаженні;
- знизити вирогідність відшаровування в наслідок зрушення в зоні адгезійного контакту від дії дотичного напруження, особливо в умовах контактного навантаження з тертям;
- обмежити розвиток тріщини по поверхні адгезійного контакту ділянкою одного дискрета, тобто запобігти переходу тріщини на наступну ділянку;
- знизити надто високі залишкові напруження стиску в покритті і, водночас, зберегти їх значення на достатньому рівні.

Для формування топографії дискретного покриття з одиничних ділянок очевидним технічним рішенням є розміщення сітчастого екрану між поверхнею деталі і випарником [19]. З метою здійснення процесу осадження дискретного зносостійкого покриття на різальний інструмент у вакуумі сітчастий екран повинен задовольняти наступним вимогам: витримувати багатократний нагрів до температури $\sim 500^{\circ}\text{C}$ і вище; мати формостійкість впродовж процесу напилення; забезпечувати задану топографію покриття. Застосування сіток з різними пара-

метрами дозволяє отримувати покриття заданої щільності з певними розмірами одиничної ділянки.

У свою чергу, правильно вибрати параметри поверхневого шару, як: розміри і форма дискретних ділянок, а також щільність покриття необхідно з аналізу напружено-деформованого стану поверхневих шарів залежно від умов навантаження. Саме такий підхід, на нашу думку, дасть можливість повною мірою використовувати всі переваги покриттів дискретного типу.

Метою роботи є показати переваги покриттів дискретного типу з огляду на напружено-деформований стан твердосплавного інструмента.

Постановка задачі

Для визначення напружено-деформованого стану (НДС) інструмента з покриттями, як приклад, розглянуто твердосплавну пластину з Т15К6 (рис.1) з вакуум-плазмовим покриттям (TiAl)N суцільного та дискретного типів товщиною 8 мкм.

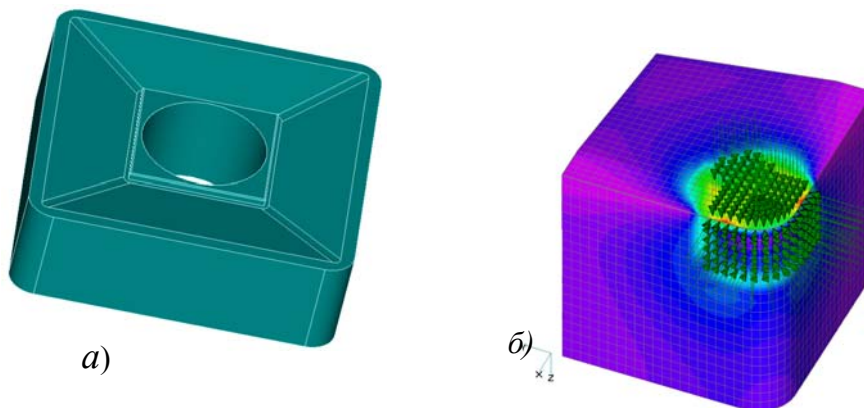


Рис. 1. Твердотільна модель твердосплавної пластини (а), схема зусиль, які діють на вершину різця (б).

Застосування сучасних чисельних методів, наприклад, таких як метод скінчених елементів, дозволяє розраховувати НДС деталей і різального інструмента з покриттями з урахуванням експлуатаційних навантажень. Побудова і розрахунок моделей проводили в скінченно-елементному комплексі MSC VisualNastran for Windows. Для розрахунку виділена робоча зона пластини, яку розбито на гексагональні скінченні елементи з заданими граничними умовами (Рис. 1б).

Для моделювання реальних умов, використовували вихідні данні, які отримали в результаті експериментальних випробувань. Довжину контакту вимірювали на інструментальному мікроскопі БМИ, а складові сил різання - динамометром УДМ-600 в умовах експериментальних досліджень при обробці сталі 40Х твердосплавними пластинами Т15К6 з режимами різання: $V = 1,7$ м/с, $s = 0,2$ мм/об, $t = 0,3$ мм..

Результати та їх обговорення

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що модифікація поверхні, особливо покриттями дискретного типу, призводить до зміни складових сил різання, що обумовлено зміною коефіцієнтів тертя, процесів стружкоутворення та зменшенням адгезійної взаємодії матеріалів стружки та різального інструмента. Так, застосування покриттів дискретного типу дозволяє знизити величини складових сил різання на 17 – 20% порівняно з поверхнями без покриттів та на 8 – 12 % порівняно з поверхнями з покриттями суцільного типу.

На основі розрахункових даних побудовано залежності для еквівалентних напружень по Мізесу $\sigma^{екв}$ та дотичних напружень $\tau^{адз}$ на поверхні адгезійного контакту в відносних координатах $(\frac{y}{a}; \frac{\sigma^{екв}}{q_{0z}})$ та $(\frac{z}{a}; \frac{\tau^{адз}}{q_{0z}})$, де y, z - поточні координати вздовж осей Y, Z ; a - довжина контакту стружки з інструментом; q_{0z} - найбільший тиск, який діє на смужці стикання поверхні без покриття.

Показано, що застосування покриттів на різальному інструменті, особливо покриттів дискретного типу, призводить до суттєвого розвантаження робочої поверхні різального інструмента (рис. 2, 3).

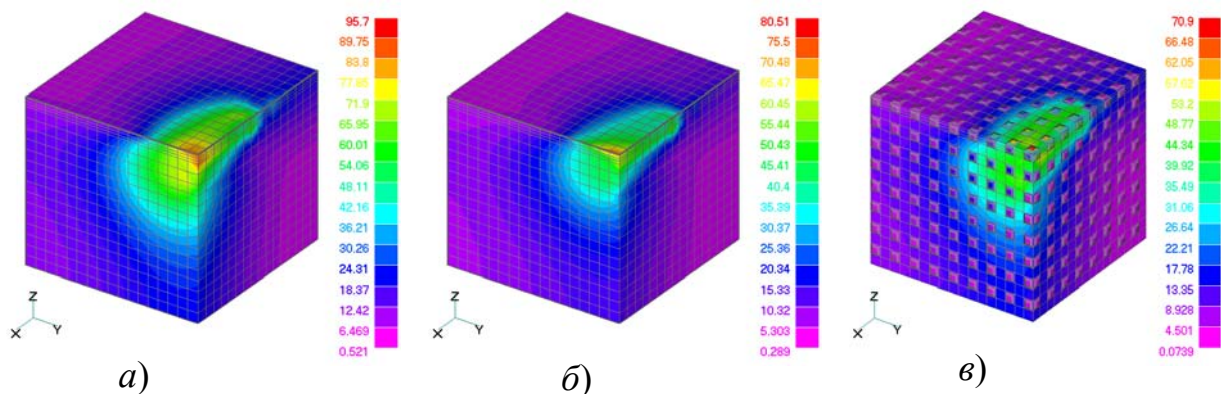


Рис. 2. Розподіл еквівалентних напружень (за Мізесом) при навантаженні інструмента з твердого сплаву Т15К6: а) – без покриття, б) – з покриттям (Ti,Al)N суцільного типу; в) – з покриттям (Ti,Al)N дискретного типу

Аналіз розподілу дотичних напружень, які спричиняють адгезійне відшарування покриття показує, що наявність покриття дискретного типу призводить не тільки до зменшення значень дотичних напружень в основі різального інструмента (рис. 4), але і до зміни місця дії максимальних за значеннями напружень (рис. 5). Зменшення величин та віддалення місця дії максимальних дотичних напружень від поверхні адгезійного контакту для покриттів дискретного типу дозволяє підвищити їх стійкість проти адгезійного відшарування.

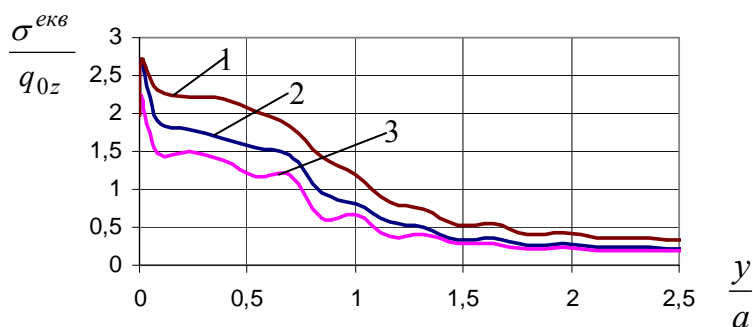


Рис. 3. Розподіл еквівалентних напружень вздовж вісі Y на поверхні різального інструмента з T15K6: 1 – при відсутності покриття; 2 – з суцільним покриттям (Ti,Al)N; 3 – з покриттям (Ti,Al)N дискретного типу.

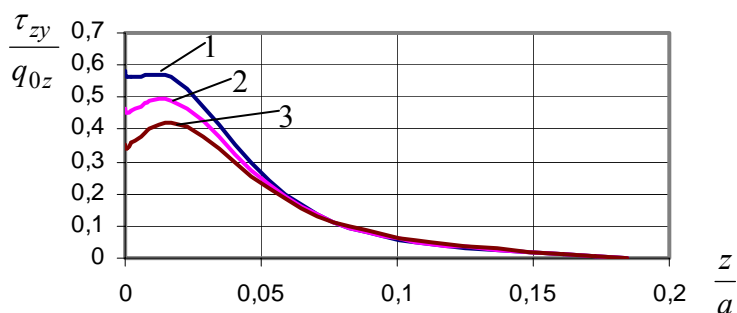


Рис. 4. Розподіл дотичних напружень τ_{zy} вздовж вісі Z в різальному інструменті з T15K6 з урахуванням коефіцієнту: 1 – при відсутності покриття; 2 – для суцільного покриття (Ti,Al)N ; 3 – для покриття (Ti,Al)N дискретного типу.

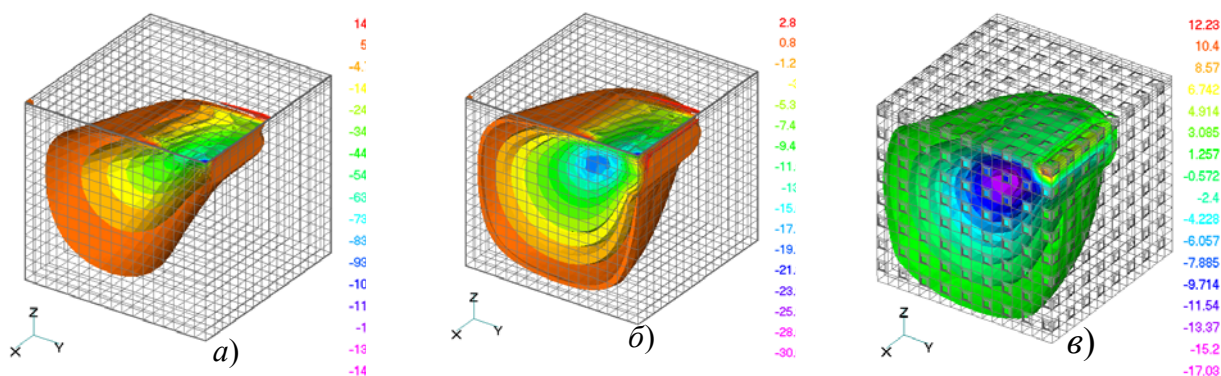


Рис. 5. Розподіл дотичних напружень τ_{zy} в інструменті T15K6: а – при відсутності покриття; б – для суцільного покриття (Ti,Al)N; в – для покриття (Ti,Al)N дискретного типу.

Моделювання за допомогою сучасних чисельних методів, зокрема методу скінчених елементів, дозволяє одержати і проаналізувати напружено-деформований стан різального інструмента. Результати чисельних розрахунків дають можливість обґрунтувати переваги і пояснити експериментально одер-

жані дані щодо підвищення стійкості при застосуванні різального інструмента з покриттями дискретного типу.

Висновок

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок про те, що застосування покриття на твердосплавних пластинах призводить до перерозподілу напружень і дає можливість розвантажити матеріал основи.

Перспективою подальших досліджень є визначення та обґрунтування оптимальних геометричних параметрів покриття дискретного типу з урахуванням умов навантаження, що дозволить запобігти руйнуванню поверхні різального інструмента.

Література

1. Neues Konzept zum Drehen mit beschichteten Hartmetall-Wendeschneidplatten / Jonsson Helge// Werkstatt und Betr.-1991.-124№1.- S.51-55.
2. Tournage des aciers faire de la production a la finition / Cyssau Jean D.//TraMetal.-2001.- №55.P.- 7-12.
3. Seco Carbology. Aerospace tooling solution.//Tool and Prod. .-2001.-67 №2.- P.63
4. Indexable inserts//Cutt. Tool Eng.-2001.-53№8.- P.24.
5. Glades for faster turning//Manuf Eng(USA) .-2005.-134№6.- P.133.
6. Die Beschichtung macht's// Werkzeuge-2000- №1.- S.22-23.
7. Research at the heart of leading –edge tooling/ Olston Larry//Mod.Appl. News.-2001.-35№3.- P.8.
8. Hartmetallsorte für Präzisionswerkzeuge/ Form+Werkzeuge .-2001.-№4.- S.77.
9. Lierath F., Vereschaka A. The Main Trends of VACUUM-ARC Technology Synthesis of Multilayer Coatings for Cutting Tool Perfection // IX International Productionstechnisches kolloquium PTK-98. – Berlin. – 1998. – P.211-225.
10. Einfluss der Eigenspannungen in Schichtverbundwerkstoffen bei Trockenreibung\ Keller Dirk A., Hirsch Thomas, Hora Pavel, Tomala Volker\ Blech Rohre Profile.-1993.-40., N 11.-p.835-842
11. Верещака А.С., Верещака А.А., Дюбнер Л.Г. Высокоэффективные многослойно-композиционные покрытия наноразмерными слоями для режущего инструмента // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. науч.-техн. сборник. - Харьков: НТУ “ХПИ”, 2005, Вып. 69. - С. 21 – 36.
12. Hat den Dreh raus. /Maschine.-2005.-59, №3, S.26-27.
13. Hochleistung mit Wendepplatten-Bohren.Werkstatt und Betr.-2001-134, №6, S.54-55.
14. Beschichtung für ein Schneidwerkzeug sowie Herstellungsverfahren. Заявка 102004010285 Германия, МПК C23C28/00, C23C14/58 Walter A.G., Schier Veit (Ruger und Kollen, 73728 Esslingen) , №102004010285.6 Заявл.03.03.2004, Опубл.29.09.2005.
15. Finite element analysis of the initial yielding behavior of a hard coating/substrate systems with functionally graded interface under indentation and friction. Stephens L.S., Liu Yan, Meletis E.I. (Mechanical Engineering Department. Louisiana State University. Baton Rouge. LA 70803). Trans. ASME. J. Tribol. 2000, 122 № 2.-P.381-387.
16. Elastic-plastic deformation analysis of multi-layer surface coating under sliding contact. Xinxiang Pan., Liu Yan, Jinjun Xu. Thin Solid Films. 1999, 354 № 1-2.-P.154-161.
17. Антонюк В.С., Сорока О.Б., Ляшенко Б.А., Рутковский А.В. Дискретні покриття на різальному інструменті // Пробл. прочности. – 2007. - №1. – С. 138-143.
18. Антонюк В.С., Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б. Выбор параметров покрытий дискретной структуры при упрочнении поверхности режущего инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия - 2005. – № 3. - С. 49 - 50.

19. Соловых Е.К., Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Сорока Е.Б., Антонюк В.С. Технологическое обеспечение вакуум-плазменных покрытий дискретной структуры // Технологические системы. Киев. 2007. - № 2. - С. 22–27.

<p>Сорока Е.Б. Напряженно-деформированное состояние твердосплавной режущей пластины с покрытием дискретного типа</p> <p>В работе рассмотрено напряженно-деформированное состояние твердосплавного режущего инструмента с вакуум-плазменными покрытиями сплошного и дискретного типа. Показано, что применение покрытия дискретного типа позволяет разгрузить рабочую часть инструмента по сравнению с инструментом без покрытия и со сплошным покрытием.</p>	<p>Soroka Helen. Stress-strain state of hard alloyed cutting tool with discontinuous coatings</p> <p>Stress-Strain State of Hard Alloyed Cutting Tool with PVD continuous and discontinuous coatings is observed. It is shown that use of discontinuous coating allows to unload tool operating part comparatively with tool without coating or with continuous coating.</p>
---	---

*Надійшло до редакції
15 лютого 2008 року*

УДК 620.178

ДІАГНОСТИКА ТРІЩИН В СТЕРЖНЯХ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНИХ РЕЗОНАНСІВ ПРИ ВАРІЮВАННІ АСИМЕТРІЇ ЗМУШУВАЛЬНОЇ СИЛИ

*Бовсуновський О.А., Інститут проблем міцності НАН України ім. Г.С.Писаренка,
м. Київ, Україна*

Асиметрія змушувальної сили змінює стан тріщини, повністю або частково відкриваючи або закриваючи її. В результаті нелінійність коливань стержня з тріщиною втомлює при суб- і супергармонічних резонансах змінюється в широких межах. На основі цього явища розроблено метод діагностики тріщин у стержнях з різними крайовими умовами

Вступ

Аналіз літератури дозволяє зробити висновок, що тріщини втомлює є найбільш розповсюдженим типом пошкодження динамічно навантажуваних конструкцій. Своєчасне виявлення втомного пошкодження особливо актуальне для авіації, атомних енергетичних установок, хімічного виробництва тощо. Тому створення ефективних методів діагностики пошкоджень є важливою науково-технічною проблемою.

Раніше у багатьох теоретичних і експериментальних роботах було показано [1], що тріщина спричиняє зменшення власних частот конструкцій і спотворення форм їх коливань. Однак вібраційні методи діагностики пошкодження, що базовані на врахуванні змін власних частот і форм коливань, виявились малочутливими. Як показали останні дослідження [2] найбільш чутливими до наявності тріщин виявились так звані нелінійні ефекти, а саме суб- і супергармоніч-